

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-084118

(43)Date of publication of application : 26.03.1999

(51)Int.Cl.

G02B 5/18

G02B 13/18

G02B 27/44

(21)Application number : 09-262833

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 10.09.1997

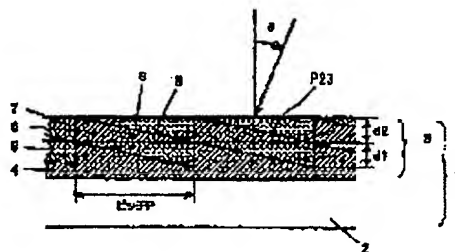
(72)Inventor : NAKAI TAKEHIKO
SEYA MICHITAKA

(54) DIFFRACTION OPTICAL ELEMENT AND OPTICAL SYSTEM USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible to maintain excellent workability and high diffraction efficiency in a wide wavelength region and to effectively suppress flares, etc., by laminating diffraction gratings consisting of plural kinds of materials different in dispersion and making the grating thickness of the diffraction gratings enhanced in the diffraction efficiency of a specific order in a use wavelength region thinner than a grating pitch.

SOLUTION: A multilayered part (diffraction grating part) 3 consisting of plural layers (diffraction gratings) 4 to 7 is formed on the surface of a substrate 2. The diffraction grating part has a first diffraction grating surface 8 at the boundary between the first layer 4 and the second layer 5 and has a second diffraction grating surface 9 at the boundary between the fourth layer 7 and the third layer 6. The first layer 4 and the third layer 6 are formed of the same material and the second layer 5 and the fourth layer 7 are formed of the same material. The diffraction grating part acts as one diffraction optical element 1 through the entire layer. The layers are so laminated that the diffraction deficiency of the specific order (designed order) is made higher in a use wavelength region (a visible ray region) and that the grating thickness (d) of the respective diffraction gratings is made sufficiently thinner than the grating pitch P, more specifically $d/P < 1/6$ and about $1 \mu\text{m} < d < 6 \mu\text{m}$ may be attained.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.10.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-84118

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月26日

(51) Int.Cl.⁹

G 0 2 B 5/18
13/18
27/44

識別記号

F I

G 0 2 B 5/18
13/18
27/44

審査請求 未請求 請求項の数 9 F D (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平9-262833

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月10日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 中井 武彦

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72) 発明者 瀬谷 通隆

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

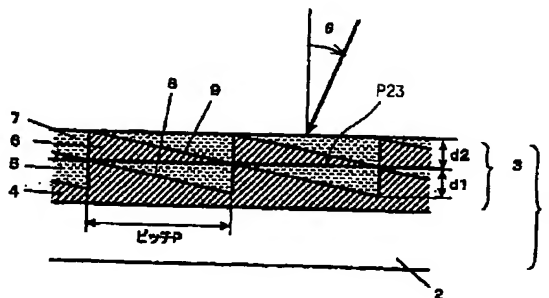
(74) 代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54) 【発明の名称】 回折光学素子及びそれを用いた光学系

(57) 【要約】

【課題】 高い回折効率が広範囲の波長域において得られる製造が容易な回折光学素子及びそれを用いた光学系を得ること。

【解決手段】 少なくとも2種類の分散の異なる材質から成る回折格子を積層し、使用波長領域全域で特定次数(設計次数)の回折効率を高くするようにした回折光学素子において、該回折格子は、その格子厚が格子ピッチに比べて十分薄いこと。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも2種類の分散の異なる材質から成る回折格子を積層し、使用波長領域全域で特定次数（設計次数）の回折効率を高くするようにした回折光学素子において、該回折格子は、その格子厚が格子ピッチに比べて十分薄いことを特徴とする回折光学素子。

【請求項2】 前記回折格子はその格子厚を d 、格子ピッチを P としたとき

$$d/P < 1/6$$

を満足することを特徴とする請求項1の回折光学素子。

【請求項3】 前記回折格子はその格子厚 d が

$$1\mu\text{m} < d < 6\mu\text{m}$$

を満足することを特徴とする請求項1又は2の回折光学素子。

【請求項4】 前記回折格子のうち少なくとも1つの回折格子は格子の向きが他の回折格子の格子の向きと異なっていることを特徴とする請求項1、2又は3の回折光学素子。

【請求項5】 前記使用波長域が、可視光域であることを特徴とする請求項1、2、3又は4の回折光学素子。

【請求項6】 前記回折格子を前記基板側より順に第 i の回折格子としたとき、第1の回折格子の材質と該基板の材質が同一であることを特徴とする請求項1から5のいずれか1項記載の回折光学素子。

【請求項7】 請求項1～6のいずれか1項記載の回折光学素子を用いたことを特徴とする光学系。

【請求項8】 前記光学系は、結像光学系であることを特徴とする請求項7の光学系。

【請求項9】 前記光学系は、観察光学系であることを特徴とする請求項7の光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は回折光学素子のうち、特に複数の波長あるいは所定の帯域の光が特定次数（設計次数）に集中するような格子構造を有した回折光学素子及びそれを用いた光学系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来より、光学系の色収差を補正する方法の1つとして、分散の異なる2つの材質の硝材（レンズ）を組み合わせる方法がある。

【0003】この硝材の組み合わせにより色収差を減じる方法に対して、レンズ面やあるいは光学系の一部に回折作用を有する回折光学素子を用いて、色収差を減じる方法がSPIE Vol.1354 International Lens Design Conference (1990)等の文献や、特開平4-213421号公報、特開平6-324262号公報、USP第5044706号等により開示されている。

【0004】これは、光学系中の屈折面と回折面とでは、ある基準波長の光線に対する他の波長の光線の色収差の出方が逆方向になるという物理現象を利用したもの

である。

【0005】さらにこのような回折光学素子は、その回折格子の周期的構造の周期を変化させることで非球面レンズ的な効果をもたせることができ収差の低減に大きな効果がある。

【0006】ここで、光線の屈折作用において比較すると、レンズ面では1本の光線は屈折後も1本の光線であるのに対し、回折格子では1本の光線が回折されると、各次数に光が分かれてしまう。

【0007】そこで、レンズ系として回折光学素子を用いる場合には、使用波長領域の光束が特定次数（以後設計次数とも言う。）に集中するように格子構造を決定する必要がある。特定の次数に光が集中して、それ以外の回折光の光線の強度が低いためには設計次数の光線の回折効率が十分高いことが必要になる。また、設計次数以外の回折次数をもった光線が存在する場合は、設計次数の光線とは別な所に結像するため、フレア光となる。

【0008】従って回折光学素子を利用した光学系においては、設計次数での回折効率の分光分布及び設計次数以外の光線の振る舞いについても十分考慮することが重要である。

【0009】図11に示すような基板2に1つの層より成る回折格子4を設けた回折光学素子1を光学系中のある面に形成した場合の特定の回折次数に対する回折効率の特性を図12に示す。この図12で、横軸は波長をあらわし、縦軸は回折効率を表している。この回折光学素子は、1次の回折次数（図中実線）において、使用波長領域でもっとも回折効率が高くなるように設計されている。

【0010】即ち設計次数は1次となる。さらに、設計次数近傍の回折次数（1次±1次の0次光と2次光）の回折効率も併せ並記しておく。

【0011】図12に示されるように、設計次数では回折効率はある波長（540nm）で最も高くなり（以下「設計波長」と言う。）それ以外の波長では徐々に低くなる。この設計次数での回折効率の低下分は、他の次数の回折光となり、フレアとなる。また、回折光学格子を複数枚使用した場合には特に、設計波長以外の波長での回折効率の低下は透過率の低下にもつながる。

【0012】この回折効率の低下を減少できる構成が特開平9-127321号公報、特開平9-127322号公報等に提示されている。特開平9-127321号公報に提示された構成は図13に示したように2つの層4、5を重ね合わされた断面形状をもつ。

【0013】一方特開平9-127322号公報に提示された構成は図14に示したように3つの層4、5、6を3層に重ね合わされた格子構造をもち、2つの境界に設けられた回折格子面8、9で挟まれた層5の厚さが異なる構成である。この回折光学素子は各材料の境界面に回折格子面8、9を形成し、境界の前後の層の材質の屈

折率差と格子溝の深さを最適化することにより、高い回折効率を実現している。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の回折光学素子では、格子領域の前後の材質の屈折率差の波長特性を所望の値にする必要があるため片側が空気の場合の回折光学素子ほど屈折率差を大きくとることができず、格子厚はかなり厚い構成になっている。特開平9-127321号公報の例だと、格子厚は $10\mu\text{m}$ 程度の厚みになっている。

【0015】また、特開平9-127322号公報においても材質は3種類に増え、回折格子面も2つに増えているが、少なくとも一方の格子厚は $7\mu\text{m}$ 以上の格子厚を有する構成になっており、かなり深い格子形状になっていることがわかる。

【0016】つぎにこれらの格子形状を切削により製造することを考える。ここで製造されたものを直接回折光学素子として用いてもよいし、製造されたものを型にして成形により回折光学素子を複製してもよい。

【0017】公知で且つ簡易な製法として図15に示すように基板2を回転させ、バイト刃17により円弧状の回折格子面を形成する方式を考える。この製法では、バイト刃17を格子ピッチ方向に移動させながら、所望の格子形状になるように、基板2とバイト刃17の距離を変えて切削をおこなう。

【0018】この製法において上述のように格子厚が厚いと切削による切削量が増大し、切削用バイト刃の摩耗が著しい。そのため切削開始時と切削終了時でのバイト刃の形状が変わり、格子厚が所望の値より切削終了位置で薄くなる問題や、バイト刃の先端が丸くなることで、格子形状が、鋸歯状形状でなくなるなどの問題が発生していた。また、格子ピッチに対して、格子厚が厚くなっているため従来の1層型の回折格子に比べて格子の斜面が急になっている。

【0019】バイト刃の先端は格子斜面より急な角度に設定する必要があり、積層構造の回折格子を加工するためのバイト刃は従来の1層型の回折格子のバイト刃に比べてかなり鋭角になっている。バイト刃が鋭角になっている点もバイト刃の摩耗を促進させる要因である。

【0020】バイト刃の摩耗を減少させる方法の一つとして、バイト刃の先端の刃先の角度を鈍角にすればよい。しかし、バイト刃を鈍角にするためには、鋸歯状格子の斜面がバイト刃と干渉しないようにさらに緩くする必要がある。積層構造にすることで格子厚が厚くなり、通常の1層型の回折格子に比べて斜面の角度は急になっている。この積層構造の回折格子で斜面の角度を緩くすることは、格子ピッチを大幅に大きくすることであり、回折光学素子としての使用範囲を限定してしまう。

【0021】本発明は、複数の回折格子を適切に積層することにより、加工性に優れ、しかも広い波長域で高い

回折効率が維持でき、フレア等を有効に抑制できる回折光学素子及びそれを用いた光学系の提供を目的としている。

【0022】

【課題を解決するための手段】本発明の回折光学素子は、

(1-1) 少なくとも2種類の分散の異なる材質から成る回折格子を積層し、使用波長領域全域で特定次数（設計次数）の回折効率を高くするようにした回折光学素子において、該回折格子は、その格子厚が格子ピッチに比べて十分薄いことを特徴としている。

【0023】特に、

(1-1-1) 前記回折格子はその格子厚を d 、格子ピッチを P としたとき

$d/P < 1/6$

を満足すること。

【0024】(1-1-2) 前記回折格子はその格子厚 d が $1\mu\text{m} < d < 6\mu\text{m}$

を満足すること。

【0025】(1-1-3) 前記回折格子のうち少なくとも1つの回折格子は格子の向きが他の回折格子の格子の向きと異なっていること。

【0026】(1-1-4) 前記使用波長域が、可視光域であること。

【0027】(1-1-5) 前記回折格子を前記基板側より順に第 i の回折格子としたとき、第1の回折格子の材質と該基板の材質が同一であること。等の特徴としている。

【0028】本発明の回折光学素子を用いた光学系は、(2-1) 構成(1-1)の回折光学素子を一部に用いていることを特徴としている。

【0029】(2-1-1) 回折光学素子を結像光学系や観察光学系に用いていることを特徴としている。

【0030】

【発明の実施の形態】図1は本発明の回折光学素子の実施形態1の正面図である。同図において回折光学素子1は基板2の表面に複数の層（回折格子）4、5、6、7より成る多層部（回折格子部）3が作成された構成となっている。

【0031】図2は図1の回折光学素子1を図中A-A'断面で切断した断面形状の一部である。図2は格子面（回折格子面）8、9の深さ方向にかなりデフォルメされた図となっている。

【0032】本実施形態の回折光学素子1の断面格子形状は、基板2上に設けられた第1層4、第2層5、第3層6、第4層7の4つの層から成り、第1層4と第2層5の境界部に第1の回折格子面8、第3層6と第4層7の境界部に第2の回折格子面9を有している。

【0033】第2層5と第3層6の境界部P23は格子のない平面部となっている。第1層4と第3層6は同じ材質より成り、第2層5と第4層7は同じ材質より成っ

ている。そして全層を通して一つの回折光学素子1として作用することを特徴としている。

【0034】本実施形態では一面に回折格子面を持ち、材質の厚さが周期的に長さP（以下「格子ピッチP」という。）で変わる層（4～7）を回折格子と言う。

【0035】又、回折格子の材質の厚さが周期的に変わる最大厚と最小厚の差を格子厚（例えば回折格子面の山と谷の高低差）を回折格子の格子厚dという。

【0036】このように本実施形態の回折光学素子は少なくとも2種類の分散の異なる材質からなる複数の回折格子を基板2上に重ね合わせた格子構造をもち、使用波長域（可視光域）で特定次数（設計次数）の回折効率を高くするようにし、又各回折格子の格子厚dが格子ピッチPに比べて十分薄くなるようにしている。例えば、 $d/P < 1/6$

とし、又具体的な数値として示すと、

$$1\mu\text{m} < d < 6\mu\text{m}$$

程度となるように積層していることを特徴としている。

【0037】図2では複数の回折格子の回折格子面（格子）の向きは同じ方向となっている。

【0038】ここで本発明の回折光学素子の形状に類似した構成が、特開平9-127321号公報に開示されている。しかし同公報の回折光学素子の目的は回折格子を複数用いることにより、個々の回折パワーを分担することである。そのため個々の回折格子が独立で回折特性を有することが前提となり、本発明のように複数の回折格子4～7が一体となり、一つの回折格子の作用をするものとは、回折格子の格子ピッチ、格子厚、材質が全く

$$(n_{01} - n_{02})d_1 + (n_{01} - n_{02})d_2 = m\lambda_0 \dots\dots (2)$$

$$(n_{01} - n_{02})(d_1 + d_2) = m\lambda_0$$

となる。ここで n_{01} は第1層4と第3層6の材質の波長 λ_0 での屈折率、 n_{02} は第2層5と第4層7の材質の波長 λ_0 での屈折率、 d_1 、 d_2 はそれぞれ第1（第2）の回折格子と第3（第4）の回折格子の格子厚である。

【0045】このことから回折光学素子1は特定の格子厚を有する回折格子（例えば回折格子5）を、回折格子（5）格子を形成する前後の回折格子4、6の材質が同じならば、任意の格子厚をもつ複数の回折格子（4、5と6、7）に分割しても、垂直入射では回折効率には影響しないことがわかる。

【0046】従来の積層構造からなる回折光学素子が境界の材質の屈折率差が十分に確保できず格子厚が厚くなり、加工が困難であったのに比べて、本発明の回折光学素子は、加工が容易な薄い格子厚を有する回折格子に分割し、複数積層することを特長としている。

【0047】以下、回折光学素子の具体的な例を引用し、本発明の構成と従来の構成についての差異を説明する。まず、従来例として図13に示した2層の構造を考える。ここで第1層を株式会社 住田光学ガラス社製の

異なる構成になっている。

【0039】次に本発明の回折光学素子の回折効率について説明する。

【0040】図13に示すよう2つの層4、5の境界に回折格子面8を有する透過型の回折光学素子1で、設計波長 λ_0 で回折効率が最大となる条件は、光束が回折光学素子1に対して垂直入射した場合は、回折格子面8の山と谷との高低差の光学光路長差（以下「回折格子面の光学光路長差」という。） d_0 が波長の整数倍になればよく、

$$d_0 = (n_{01} - n_{02})d = m\lambda_0 \dots\dots (1)$$

となる。

【0041】ここで n_{01} は波長 λ_0 での層4の材質の屈折率、 n_{02} は波長 λ_0 での層5の材質の屈折率である。 d は回折格子4（5）の格子厚である。 n_{02} は波長 λ_0 での層5の材質の屈折率である。 d は回折格子4（5）の格子厚である。

【0042】 m は回折次数である。ここで層5が空気の場合（ $n_{02} = 1$ ）が図11に示す1層より成る回折光学素子1に相当している。

【0043】2つ以上の回折格子、即ち2層以上の構造からなる回折光学素子でも、基本的な考え方は同様で、全層を通して一つの回折格子として作用させるためには、各層の境界に形成された回折格子面の山と谷の光学光路長差を求め、それを全層にわたって加えあわせたものが波長の整数倍になるように決定する。

【0044】従って図2に示した本実施形態の場合の条件式は

光学ガラスLaFK60（ $n_d=1.63246$ 、 $\nu_d=63.8$ ）、第2層をプラスチック材PC（ $n_d=1.5831$ 、 $\nu_d=30.2$ ）なる材質を使用した。

【0048】この構成での第1の回折格子4の格子厚は $11.9\mu\text{m}$ である。この積層構造の回折光学素子で回折レンズを製造することを考える。レンズとして必要な最小ピッチを例えば $40\mu\text{m}$ とすると、最小ピッチでの回折格子面の斜面の角度は 16.6° となる。この回折格子を前述の切削法で製造しようとするときバイト刃の刃先角は 73.4° 未満にする必要がある。

【0049】次に本発明の構成を説明する。回折光学素子の格子構成は図2に示すものとし、回折格子を構成する材料は、上述の材料を使用する。従って第1層4と第3層6が住田光学ガラス社製の光学ガラスLaFK60（ $n_d=1.63246$ 、 $\nu_d=63.8$ ）、第2層5と第4層7がプラスチック材PC（ $n_d=1.5831$ 、 $\nu_d=30.2$ ）となる。また各回折格子の格子厚は第1（第2）の回折格子の格子厚 d_1 、第3（第4）の回折格子の格子厚 d_2 ともに $d_1 = d_2 = 5.95\mu\text{m}$ とする。

【0050】ここで格子厚は合計で前述の $11.9\mu\text{m}$ と

なる値であれば任意の値で良いが、等しい厚みとしたほうが、型による成形の場合には同じ型を使用できるし、直接切削により回折格子を作成する場合も、同じバイト刃を使用できる。

【0051】図3に本実施形態の構成での使用波長領域での回折効率を示す。従来例と同様に、設計次数で高い回折効率を維持していることがわかる。

【0052】次に本発明の回折光学素子で同様に最小ピッチPが $40\mu\text{m}$ の回折レンズを製造することを考える。この場合、各回折格子の最小ピッチPでの回折格子面の斜面の角度は 8.5° となる。この回折格子を前述の切削法で製造しようとするときバイト刃の刃先角は 81.5° 未満にすればよい。

【0053】以上のように従来例に比べてバイト刃の刃先角は鈍角になっていることがわかる。また、各回折格子の格子厚が半分になっているため、回折格子面の切削量は従来例の半分になっている。この2つの効果により、バイト刃の摩耗は大幅に低減され、全域で格子厚の様な回折光学素子を製造することが容易となる。

【0054】ここでバイト刃先は 80° 以上の鈍角を確保できるのが望ましく、回折格子の格子厚をd、回折格子の最小格子ピッチをPとすると、 $d/P \leq 1/6$ となるように各回折格子部の格子厚を決定するのが良い。或いは格子厚が $6\mu\text{m}$ 未満の薄い回折格子の組み合わせとし、切削量を減らすことで、バイト刃の摩耗を低減するようにしてもよい。

【0055】上記従来例は、回折格子の格子厚が $12\mu\text{m}$ 程度の格子深さであったので、本実施形態では、回折格子を2分割することで、加工性のよい回折光学素子を実現している。又、材料の組み合わせによっては、格子厚はさらに深くなる場合もあり、この場合は、2分割に限らず、3分割、4分割することで、加工性のよい格子厚まで薄くして、積層構造とすればよい。

【0056】また、上記実施形態は特開平9-127321号公報の回折格子に対して本実施形態を適用したが、特開平9-127322号公報の異なる格子厚を有する積層構造の回折光学素子にも本実施形態の構成を適用することができる。この場合は、2種類の異なる格子厚の回折格子のうち、格子厚の厚い回折格子に対して本発明の薄い格子の組み合わせを適用すればよい。

【0057】以上述べた説明は、1周期の回折格子形状に限定して説明を行った。しかし、回折格子の回折効率については、回折格子のピッチは基本的には影響しないことが、公知である。つまり本実施形態は図1に示した1次元の回折格子の他に、図4に示すような回折光学レンズなどあらゆる格子形状を有する回折光学素子に適用することができる。

【0058】また、実施形態の説明では平板上に回折格子を設けた回折光学素子であるが、レンズ曲面表面に設けても同様の効果が得られる。

【0059】また本実施形態では、回折次数が1次光の場合を示したが、1次光に限定するものではなく、2次光などの異なった回折次数光であっても、合成光学光路長差を所望の回折次数で所望の設計波長となるように設定すれば同様の効果が得られる。又、基板2の材質と第1の回折格子4の材質を同一のものをを用いても良い。

【0060】次に本発明において、格子厚dと格子ピッチPを

$$d/P < 1/6$$

とする他の理由について説明する。

【0061】後述の回折格子への光波の入射角による回折効率依存の観点からも上記d/Pの数値範囲は重要となっている。即ち、実施形態1での、格子厚 $d_1 = d_2 = 59.5\mu\text{m}$ で、格子ピッチ $P = 59.5\mu\text{m}$ とした場合の、回折効率の入射角依存性を示したのが図7である。図7(B)で明らかのように、2次回折光の入射角依存性をみるに、波長 550nm 及び、波長 450nm での $\theta < -15^\circ$ あたり以上の角度で大きな効率値を有し、一般的に使用することを考えると、入射角の制限を受けることとなる。(寄生回折光成分を3%以内に抑える)。この時d/Pの値は1/5である。

【0062】又、他の例として実施形態1の形状で、第1層、第3層にLAL12($n_d = 1.67790$, $\nu = 55.3$)、第2層、第4層にS-TiM27($n_d = 1.6398$, $\nu_A = 34.5$)を使用し、格子厚 $d_1 = d_2 = 8\mu\text{m}$ で格子ピッチ $P = 40\mu\text{m}$ とした場合の回折効率の入射角依存性を図16に示す。この場合、2次回折光で $\theta < -7^\circ$ 、0次回折光で $\theta 5^\circ$ 程度から著しい効率値を示し、これは結像性能上フレア光成分が顕著となり望ましくない。この場合のd/Pは2/5である。

【0063】更に他の例として、上記例同様の構成で、材料を $n_d = 1.632$ 、 $\nu_d = 63.8$ と $n_d = 1.484$ 、 $\nu_d = 15.1$ の2種類から構成し、格子厚 $d_1 = d_2 = 2\mu\text{m}$ で格子ピッチ $P = 40\mu\text{m}$ とした場合の回折効率の入射角依存性を図17に示す。

【0064】同様に材料を $n_d = 1.632$ 、 $\nu_d = 63.8$ と $n_d = 1.558$ 、 $\nu_d = 23.0$ の2種類から構成し、格子厚 $d_1 = d_2 = 4\mu\text{m}$ で、この場合格子ピッチ $P = 80\mu\text{m}$ とした場合の回折効率の入射角依存性を図18に示す。この2例では、いずれも入射角 θ が $\pm 20^\circ$ の範囲で充分、2次、0次回折光共に回折効率は低く、フレアの悪影響は低く抑えられることがわかる。又、この2例でのd/Pの値はいずれも1/10である。

【0065】以上のことから、積層構造からなる、同一方向に格子断面の斜斜を有する回折格子に於ては、d/Pが少なくとも1/5未満とするのが良い。

【0066】図5は本発明の回折光学素子の実施形態2の要部断面図である。前述の実施形態1では2つに分割

した回折格子の格子の向きは同じ向きで構成していた。これに対して本実施形態では複数の回折格子のうち少なくとも1つの回折格子の格子の向きが他の回折格子の格子の向きに対して異なっている格子構造を持つようにしている。

【0067】本実施形態の回折光学素子1は第1層4、第2層5、第3層6の3つの層から成っている。ここで、第1の回折格子4と第2の回折格子5は格子の向きが異なる回折格子で形成されている。この場合も、格子の向きは異なるが、回折格子4、5の境界の材質が前述の実施形態1と逆になっているので、前述の実施形態1と同様の回折効率が、垂直入射の光束について成立する。

【0068】また本実施形態の特長である薄い格子の構成になるので、加工性は大幅に改善される。さらに、図に示したような基準面が平面である回折格子の場合で第1の回折格子4と第3の回折格子6の格子厚 d_1 、 d_2 の絶対値が等しいと、第1層4と第3層6の格子形状が全く同じ形状となる。従って図6に示すような製法をとることができる。

【0069】つまり、一つの型から成形で第1層4と第3層6の格子部を作成し(図6(A))、(図6(B))、2つの格子部で挟むように第2層5の材質を充填することで(図6(C))、回折光学素子1を形成する(図6(D))。この構成だと、前述の実施形態1に比べて、層数が一つ減少できるので、回折光学素子1の製造工程を短縮することができる。

【0070】さらに、上述においては、回折格子に光束が垂直入射した場合についてのみ言及していた。通常の結像光学系などの一部に回折光学素子を用いる場合、回折光学素子に垂直に入射する光束しか存在しない構成は殆どなく、特定の入射角の範囲で使用される。

【0071】以下、入射角の違いに対する回折効率の変動を図2に示した実施形態1の格子構造と図5に示した実施形態2の格子構造について説明する。図7に実施形態1の入射角と回折効率の関係を、図8に実施形態2の入射角と回折効率の関係を示す。

【0072】ここで、図(A)は1次回折光の入射角に対する回折効率の変動、図(B)は2次回折光、図(C)は0次回折光の入射角に対する回折効率の変動を示す。ここで、入射光束は回折格子の格子ピッチ方向と回折格子面法線からなる平面内にある。つまり回折光束が1平面内に存在する条件である。入射角の符号は図2に示した θ 方向を正としている。また、格子厚は合計の厚みが $8\mu\text{m}$ の深さであり、計算時の格子ピッチは $40\mu\text{m}$ である。

【0073】この図からわかるように実施形態2の格子構造のほうが、負の入射角での回折効率の変動がかなり抑制されていることがわかる。例えば、設計次数以外の回折次数の効率を3%以下とするには、実施形態1の構

成だと入射角 θ は $-15 \leq \theta \leq 20$ の範囲であるのが、実施形態2の構成だと、 $-20 \leq \theta \leq 20$ まで使用可能な入射角は広がっている。

【0074】実際の光学系に本実施形態の回折レンズを使用するときは、光束幅、回折レンズの格子ピッチは様々な値をとるので、使用可能な画角と許容できる設計次数外の回折効率はそれぞれの場合で最適な組み合わせを決定する必要がある。

【0075】以上説明したように、実施形態2の格子構成は、入射角変化に対する回折効率の変動を抑制できるという特長を有する。さらに基準面形状が平面の場合は、回折光学素子の製造工程を短縮することができる。

【0076】図9は本発明の回折光学素子を用いた光学系の実施形態3の概略図であり、カメラ等の撮影光学系の断面を示している。同図中、10は撮影レンズで、内部に絞り11と回折光学素子1を持っている。12は結像面であるフィルムまたはCCDである。

【0077】積層構造の回折光学素子を用いることで、回折効率の波長依存性は大幅に改善されているので、フレアが少なく低周波数での解像力も高い高性能な撮影レンズを達成している。又、本発明の回折光学素子は、簡単な製法で作成することができるので、撮影レンズとしては量産性に優れた安価なレンズを提供することができる。

【0078】図9では絞り11近傍の平板ガラス面に回折光学素子1を設けたが、これに限定するものではなく、レンズ曲面表面に回折光学素子を設けても良いし、撮影レンズ内に複数、回折光学素子を使用しても良い。

【0079】また、本実施形態では、カメラの撮影レンズの場合を示したが、これに限定するものではなく、ビデオカメラの撮影レンズ、事務機のイメージスキャナーや、デジタル複写機のリーダーレンズなどに使用しても同様の効果が得られる。

【0080】図10は本発明の回折光学素子を用いた光学系の実施形態4の概略図であり、双眼鏡等観察光学系の断面を示したものである。同図中、13は対物レンズ、14は像を成立させるための像反転プリズム、15は接眼レンズ、16は評価面(瞳面)である。

【0081】図中1は回折光学素子である。回折光学素子1は対物レンズ13の結像面12での色収差等を補正する目的で形成されている。

【0082】積層構造の回折光学素子を用いることで、回折効率の波長依存性は大幅に改善されているので、フレアが少なく低周波数での解像力も高い高性能な対物レンズを達成している。又、本発明の回折光学素子は、簡単な製法で作成できるので、観察光学系としては量産性に優れた安価な光学系を提供できる。

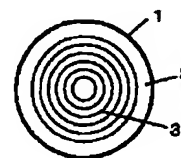
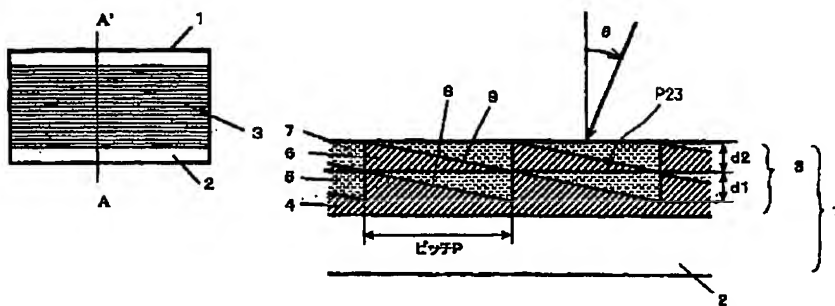
【0083】本実施形態では、対物レンズ部13に回折光学素子1を形成した場合を示したが、これに限定するものではなく、プリズム表面や接眼レンズ15内の位置

【図6】本発明の回折光学素子の実施形態2の製造方法の説明図

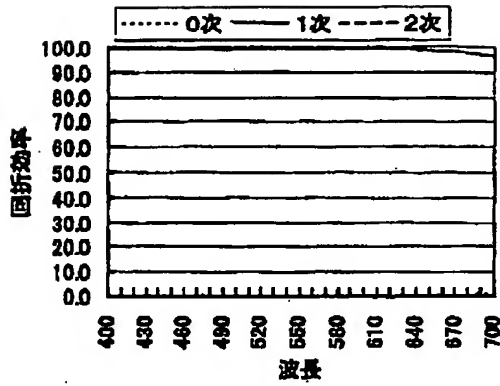
【符号の説明】

- 1 回折光学素子
- 2 基板
- 3 回折格子部
- 4, 5, 6, 7 回折格子
- 8, 9 回折格子面
- 10 撮影レンズ
- 11 絞り
- 12 結像面
- 13 対物レンズ
- 14 像反転プリズム
- 15 接眼レンズ
- 16 瞳面

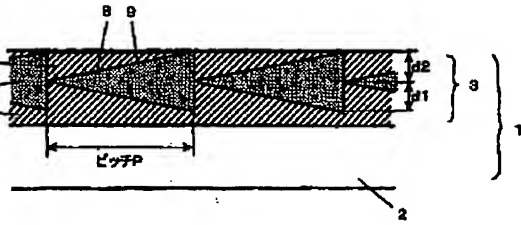
【図4】



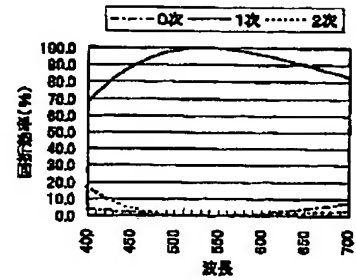
【図3】



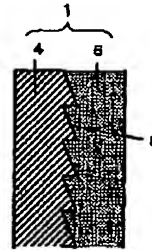
【図5】



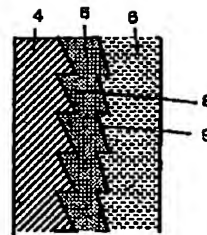
【図12】



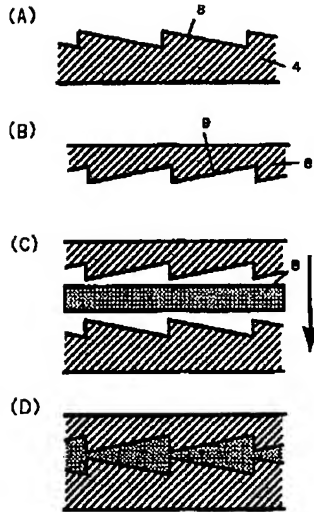
【図13】



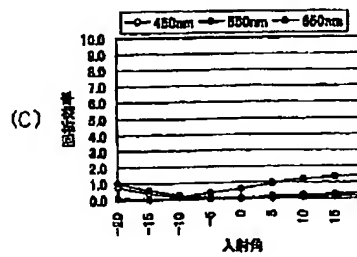
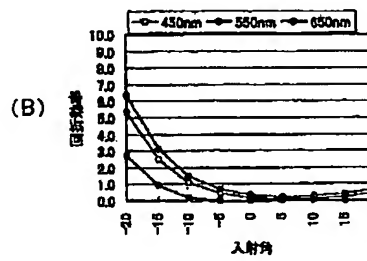
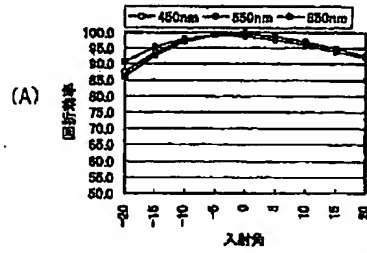
【図14】



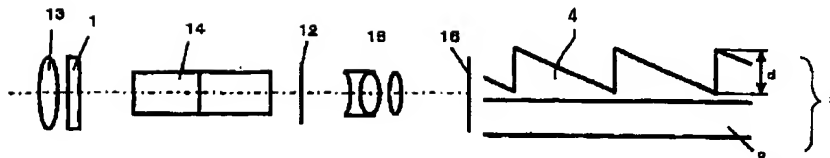
【図6】



【図7】



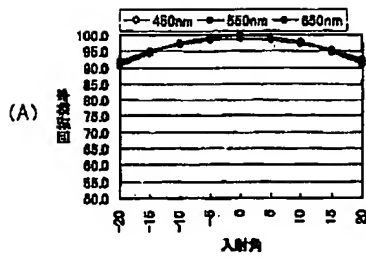
【図10】



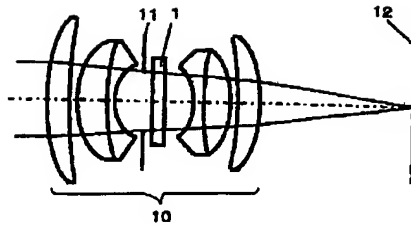
【図11】



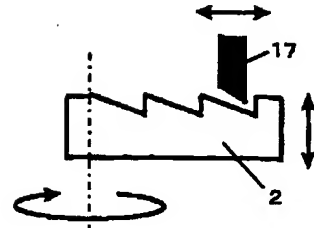
【図8】



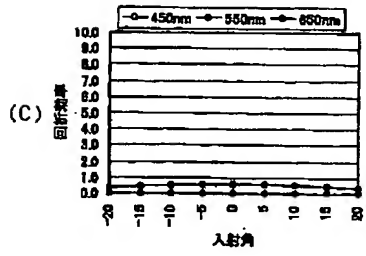
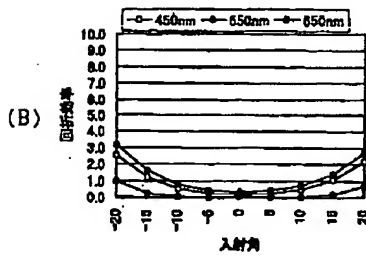
【図9】



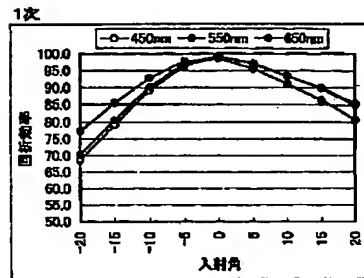
【図15】



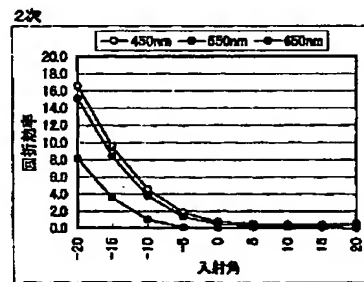
【図16】



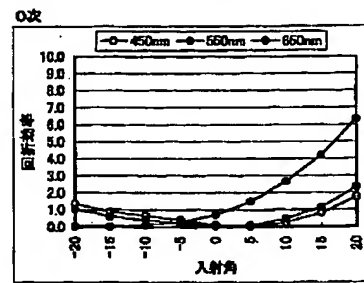
(A)



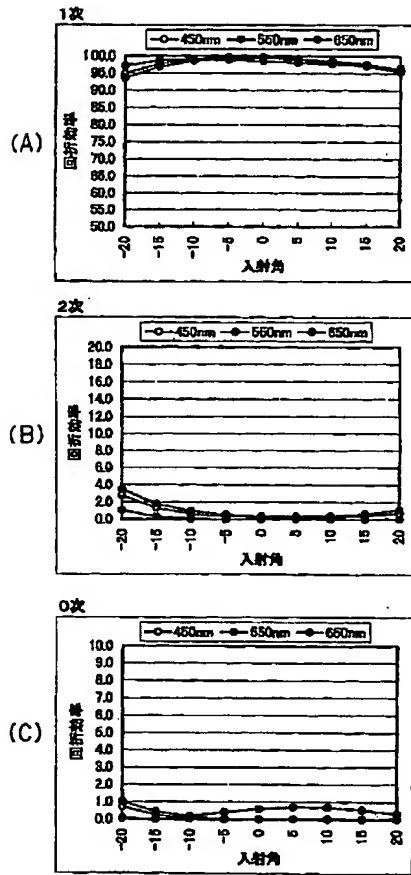
(B)



(C)



【図17】



【図18】

